

现代 **移动** 通信技术丛书

CDMA

空中接口技术

孙宇彤 赵文伟 蒋文辉 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代移动通信技术丛书

CDMA 空中接口技术

孙宇彤 赵文伟 蒋文辉 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

CDMA 空中接口技术/孙宇彤, 赵文伟, 蒋文辉编著. —北京: 人民邮电出版社, 2004.10
(现代移动通信技术丛书)

ISBN 7-115-12528-7

I. C... II. ①孙... ②赵... ③蒋... III. 码分多址—宽带通信系统—接口 IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 092880 号

内 容 提 要

本书分为两大部分, 第一部分包括第一章到第四章, 主要介绍了与移动通信系统和 CDMA 空中接口技术相关的基础知识; 第二部分包括第五章到第十章, 介绍了各种基于 CDMA 空中接口的移动通信系统特点和结构, 其中包括窄带 CDMA 空中接口、cdma2000 空中接口和 WCDMA 空中接口, 并深入分析了这些系统的处理机制和处理流程。

本书适合移动通信系统运营、研发、设备制造等从业人员阅读, 也适合各类院校作为移动通信课程的参考资料。

现代移动通信技术丛书

CDMA 空中接口技术

◆ 编 著 孙宇彤 赵文伟 蒋文辉
责任编辑 梁 凝

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129258

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 18.25

字数: 440 千字

2004 年 10 月第 1 版

印数: 1—4 000 册

2004 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12528-7/TN · 2325

定价: 32.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

通信领域各种技术风起云涌,各领风骚几许年,当下最红火的莫过于移动通信技术了。如果把移动通信技术比作一顶王冠,那么空中接口技术无疑就是王冠上最耀眼的那颗明珠。空中接口技术是移动通信技术中最本质、最核心的部分,各种移动通信技术的区别就体现在形形色色的空中接口技术上。

空中接口技术经历了 FDMA、TDMA、CDMA 几种技术的发展过程,目前最常见的移动通信系统还是基于 TDMA 空中接口技术。但是随着 3G 的发展,基于 CDMA 的空中接口技术已经成为大家关注的焦点,了解和掌握基于 CDMA 的空中接口技术成为移动通信从业人员的迫切需要。

为了帮助大家了解和掌握 CDMA 空中接口技术,作者继承了《TDMA 空中接口技术》一书的写作风格,集中展示 CDMA 空中接口是什么(What),CDMA 空中接口是怎样工作的(hoW)和为什么要这样工作(Why),力求让读者能深入地了解 CDMA 空中接口技术。

本书可以分为两大部分,第一部分包括第一章到第四章,主要介绍了移动通信系统和 CDMA 空中接口技术的相关基础知识;第二部分包括第五章到第十章,介绍了各种基于 CDMA 空中接口的移动通信系统的特点和结构,深入分析了这些系统的处理机制和处理流程。

本书适合从事移动通信系统运营、制造等专业技术人员阅读,也可作为各类院校相关专业移动通信课程的参考资料。

在本书写作过程中,孙宇彤负责本书的统稿及主要编写工作,蒋文辉承担了本书的第八章初稿的编写,赵文伟承担了本书的第九章和第十章初稿的编写。

读者有任何问题,可以与笔者联系(E-mail:phsbook@tom.com),也可以访问以下网站:
<http://www.pch.com.cn>。

孙宇彤
于 2004 年暮春

目 录

基 础 篇

第一章 概述.....	2
1.1 引言.....	2
1.2 移动通信系统	2
1.3 空中接口.....	6
1.3.1 接口	6
1.3.2 空中接口	7
1.3.3 业务	7
1.4 空中接口的处理机制	8
1.4.1 基站发现	8
1.4.2 终端发现	9
1.4.3 身份识别	10
1.4.4 安全	11
1.4.5 切换	12
1.5 小结.....	13
第二章 无线基础.....	14
2.1 引言.....	14
2.2 无线电波的传播	14
2.2.1 载波	14
2.2.2 强度	15
2.2.3 空间效应	16
2.2.4 阴影效应	16
2.2.5 多径效应	16
2.2.6 菲涅耳区	17
2.2.7 信号与噪声	17
2.2.8 大尺度和小尺度衰减	18
2.3 移动信道特点	19
2.4 天线.....	20
2.4.1 天线原理	20
2.4.2 天线参数	20

2.5 小结.....	22
第三章 空中接口基础	23
3.1 引言.....	23
3.2 业务的处理流程	23
3.3 语音编码.....	23
3.4 信道编码.....	25
3.5 调制与解调	26
3.5.1 调制	26
3.5.2 QPSK 调制	26
3.5.3 QPSK 解调	28
3.5.4 QPSK 解调性能	28
3.6 工作方式.....	30
3.7 多址方式.....	31
3.8 OSI 七层结构	32
3.8.1 分层服务	32
3.8.2 物理层	34
3.8.3 链路层	35
3.8.4 网络层	35
3.8.5 其他层	35
3.9 小结.....	36
第四章 CDMA 的关键技术	37
4.1 引言.....	37
4.2 扩频.....	37
4.2.1 简介	37
4.2.2 扩频码	40
4.3 其他关键技术	48
4.3.1 功率控制	48
4.3.2 分集接收	49
4.3.3 切换	51
4.4 小结.....	52

系 统 篇

第五章 窄带 CDMA 空中接口的结构.....	54
5.1 引言.....	54
5.2 窄带 CDMA 概述	54

5.2.1	发展沿革	54
5.2.2	系统组成	55
5.2.3	窄带 CDMA 空中接口参数	56
5.3	信道	57
5.3.1	信道种类	57
5.3.2	信道的复用	58
5.3.3	信道编码	59
5.3.4	信道解码	65
5.4	信号	65
5.4.1	信道的帧结构	66
5.4.2	语音信号	67
5.4.3	同步信道消息	69
5.4.4	寻呼信道消息	71
5.4.5	接入信道消息	75
5.4.6	业务信道消息	77
5.4.7	时间同步	81
5.5	消息	81
5.5.1	标识	81
5.5.2	消息的三层结构和功能	84
5.5.3	指令消息	85
5.6	小结	87
第六章	窄带 CDMA 空中接口的运作机制	89
6.1	引言	89
6.2	终端的运作机制	89
6.2.1	初始化状态	90
6.2.2	待机状态	92
6.2.3	接入状态	98
6.2.4	业务状态	106
6.3	基站的运作机制	112
6.3.1	基站处理流程综述	112
6.3.2	业务协商	113
6.4	呼叫流程	114
6.4.1	主叫	114
6.4.2	被叫	115
6.4.3	挂机	117
6.4.4	登记	118
6.4.5	切换	118
6.5	小结	119

第七章	cdma2000 1x 空中接口	120
7.1	引言	120
7.2	cdma2000 概述	120
7.2.1	发展沿革	120
7.2.2	系统组成	121
7.2.3	空中接口参数	122
7.2.4	空中接口的改进	123
7.3	低层及低层结构	125
7.3.1	信道种类	125
7.3.2	扩频及 Walsh 码	128
7.3.3	扰码与调制	133
7.3.4	下行信道编码	135
7.3.5	上行信道编码	140
7.4	处理机制	144
7.4.1	分层结构	144
7.4.2	快速寻呼	148
7.4.3	终端的状态和消息	149
7.4.4	基站的任务和消息	151
7.4.5	软切换	153
7.4.6	增强接入	155
7.4.7	功率控制	157
7.5	小结	158
第八章	cdma2000 1x 数据业务	159
8.1	引言	159
8.2	短消息业务	159
8.2.1	概述	159
8.2.2	短消息的处理	160
8.3	分组数据业务	161
8.3.1	概述	161
8.3.2	简单 IP 业务	161
8.3.3	数据业务的建立	163
8.3.4	分组数据业务的进行	165
8.4	cdma2000 1xEV-DO	168
8.4.1	概述	168
8.4.2	1xEV-DO 系统	169
8.4.3	1xEV-DO 处理机制	171
8.4.4	1xEV-DO 下行信道	172
8.4.5	1xEV-DO 上行信道	175

8.4.6	1xEV-DO 的呼叫流程	178
8.5	CDMA1x EV-DV	179
8.5.1	概述	179
8.5.2	1xEV-DV 的结构变化	180
8.5.3	1xEV-DV 的主要机制	182
8.5.4	1xEV-DV 呼叫流程	185
8.6	小结	186
第九章	WCDMA 空中接口的结构与功能	188
9.1	引言	188
9.2	UMTS 概述	188
9.2.1	WCDMA 与 UMTS	188
9.2.2	UMTS 分层结构	190
9.2.3	R99 系统组成	191
9.3	WCDMA 空中接口概述	193
9.3.1	WCDMA 空中接口参数	193
9.3.2	WCDMA 空中接口结构	195
9.3.3	WCDMA 空中接口功能	196
9.4	WCDMA 空中接口信道	198
9.4.1	信道类别	198
9.4.2	WCDMA 空中接口的扩频处理	202
9.4.3	信道扩频与调制	203
9.4.4	WCDMA 空中接口的扰码	206
9.4.5	下行物理信道	208
9.4.6	上行物理信道	215
9.4.7	信道编码	221
9.5	MAC 结构	226
9.6	小结	227
第十章	WCDMA 空中接口的运作机制	229
10.1	引言	229
10.2	RLC 协议机制	229
10.2.1	RLC 协议概述	229
10.2.2	透明模式实体	230
10.2.3	非确认模式实体	230
10.2.4	确认模式实体	231
10.2.5	HARQ 技术	233
10.3	RRC 协议机制	234
10.3.1	RRC 协议结构及状态模型	235

10.3.2	广播与寻呼	238
10.3.3	RRC 连接建立以及释放	240
10.3.4	信令连接建立以及释放	242
10.3.5	RB 连接建立以及释放	243
10.3.6	安全性	245
10.3.7	配置	246
10.3.8	切换	249
10.3.9	测量	253
10.4	UE 的处理机制	258
10.4.1	UE 模式	258
10.4.2	小区选择过程	259
10.4.3	随机接入过程	262
10.4.4	寻呼与非连续接收	263
10.4.5	功率控制	264
10.5	呼叫流程	265
10.5.1	呼叫建立过程	265
10.5.2	呼叫释放过程	266
10.5.3	小区更新过程	267
10.6	小结	267

附 录

附录一	术语表	270
附录二	缩略语	272
参考文献		280

基础篇

第一章 概 述

1.1 引 言

本章是空中接口的概述，主要介绍通信系统的特点、应用和结构，移动通信系统的特点、应用和发展，第三代移动通信系统的特点和制式，空中接口的定义，空中接口的任务和工作机制等内容。

1.2 移动通信系统

一提到通信，人们的第一反应就是电话。的确，利用电话这种即时的通信工具，两个人即使相隔千山万水，都可以相互通话。电话不仅将一个地区、一个国家的人民联系在一起，而且还将地球上各个国家和地区的人民联系在一起，从而，方便了人们的交流，拉近了人们的距离。

电话的功能是传递语音。众所周知，打通电话的前提是打电话的用户（主叫）和呼叫对象（被叫）之间有传递语音的线路（双绞线）。原始的方法是为每个用户拉一条线路，当使用电话的用户越来越多时，保证用户和用户之间都能打通电话的线路成为难题：线路太多。此外，线路也有传送语音的距离限制，不会超过 10 千米。

于是，交换中心应运而生。交换中心内安装有交换机，交换中心和交换中心之间通过高速、大容量、长距离的线路（现在主要是光纤）相互连接。用户之间不再直接连接，而是先连接到交换机，再通过交换机的转接，实现用户之间的连接，从而解决了线路数量和传输距离的困扰。通信系统就这样形成了，通信系统的结构如图 1.1 所示。

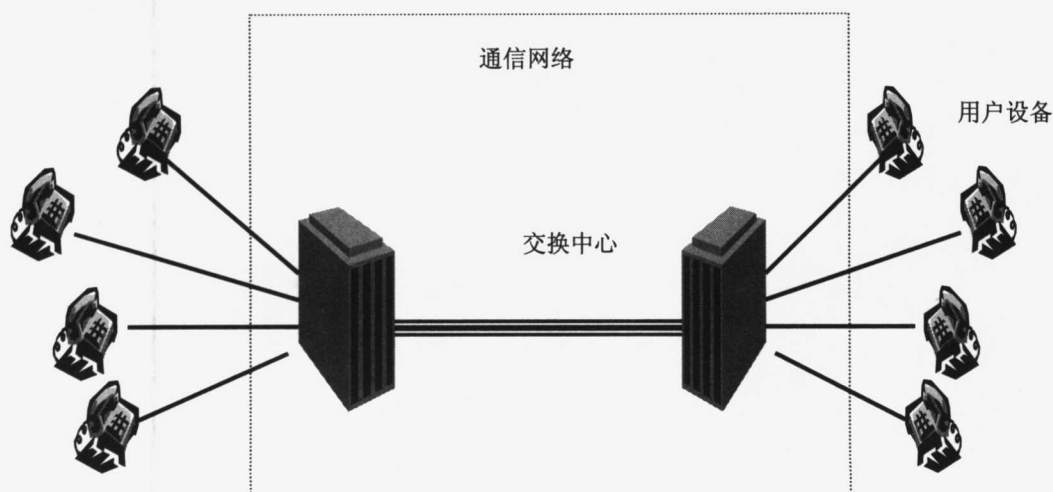


图 1.1 通信系统的结构图

召的是陆地移动通信系统。

示意图

为移动的用户提供通信服务是件非常复杂的工作，移动通信系统与固定通信系统相比，至少需要增加如下一些处理能力：

(1) 移动的用户如何与通信网络联系

移动通信系统的终端是通过无线电波与通信网络相联系的，由于终端位置不固定，因此终端找到通信网络是移动通信的首要问题。

(2) 通信网络如何找到移动的用户

通信网络也需要找到用户。比如通信网络呼叫用户的时候，如果找不到用户，也就无法为用户提供相应的服务。

(3) 通信网络如何为移动的用户提供恰当的服务

在固定通信系统中，用户都有固定的位置，确定用户的身份非常简单。移动通信系统中情况就大不相同了，由于用户位置的可移动性，确定用户的身份相当麻烦。而确定用户的身份，是为用户提供恰当服务的前提。

(4) 通信网络如何保证移动的用户通信的可靠性

无线电波是开放的，容易被监听，因此移动通信系统需要保证用户通信的可靠性，即安全性。

(5) 通信网络如何保证移动的用户通信的连续性

移动用户在通话过程中位置会不断地变动，通话环境也随之变化，这种情况下，保证用户通话不中断也是一项艰巨的任务。

正因为移动通信如此复杂，因此直到 20 世纪 80 年代初，随着半导体、集成电路和计算机技术的飞速发展，人们才实现了移动通信的理想。

1979 年美国开通了模拟移动通信系统，开创了移动通信的先河。模拟移动通信系统是第一代的移动通信技术，简称 1G（G 是 generation 的缩写）。模拟移动通信系统基本实现了移动用户之间的通信，具有划时代的意义。但模拟移动通信系统在功能上有明显的缺点，比如安全保密性差、系统容量小、终端功能弱等等。

于是人们开始研究下一代的移动通信系统——数字移动通信系统。欧洲行动最为迅速，在 20 世纪 90 年代初完成了 GSM 的标准，并成功实施，从此，移动通信进入了第二代，简称 2G。同属于第二代移动通信系统的还有美国发展的窄带 CDMA（空中接口 IS-95A，以下 CDMA 不加说明，都指 IS-95A）等移动通信系统。GSM、PHS 和窄带 CDMA 系统互不兼容，因此彼此的终端不能在对方系统中使用。

第二代移动通信系统是非常成功的通信系统，比较完美地解决了移动中的语音通信。除了语音通信外，第二代移动通信系统还提供了一些数据业务，如眼下如日中天的短消息和已经偃旗息鼓的 WAP。2G 是目前主流的移动通信技术，带动了移动通信的普及。

第二代移动通信系统的手持终端也有了极大的进步，从笨重的“大哥大”发展到了如今小巧轻便的手机，至于录音、电话号码簿、游戏和短消息等附加功能就更不在话下了。目前，大屏幕、彩色、PDA 已经成为新一代手持终端的理想配置，而利用手持终端购物也许会引发下一个应用热潮。

从图 1.3 中可以看出，全球移动通信用户一直呈快速增长的趋势，2002 年用户数已经突破 10 亿大关，在不少国家移动通信用户数目甚至超过了固定电话用户的数目。中国也不例外，移动通信用户数量从 2001 年 5 月的 8240 万增至 2003 年 7 月的 2.5 亿户，不但超过了固定

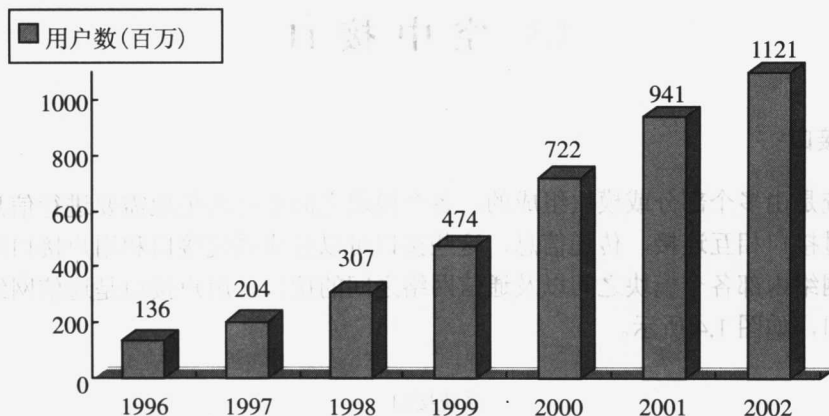


图 1.3 全球移动通信用户数量示意图

电话用户数量，而且中国也已经成为世界上移动通信用户数量最多的国家。

21 世纪人们对移动通信的期待更高，宽带化成为移动通信系统发展的下一个方向，这就是第三代移动通信系统，简称 3G。目前 3G 已经在某些地方开始商用，但离全球大规模商用还有一段时间，其市场价值还需要验证。

3G 经历了一个发展过程。ITU（国际电信联盟）早在 1985 年就提出了 3G 的概念，当时称为 FPLMTS（未来公众陆地移动通信系统）。1996 年 FPLMTS 更名为 IMT-2000（国际移动通信-2000），据说这个命名有三层含义：系统工作在 2000MHz 频段、最高业务速率可达 2000kbit/s、预期在 2000 年左右得到商用。

IMT-2000 的标准化工作在 1997 年初开始，其中最重要的工作是确定第三代移动通信系统的空中接口。到 1998 年中，全球共提出了 15 种第三代移动通信空中接口的候选技术方案，1999 年最终确定在第三代移动通信系统中使用其中五种技术方案。

因此，3G 发展出了五大流派，其中 WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 三大流派采用了 CDMA 技术，是 3G 的主流；SC-TDMA 和 MC-TDMA 采用了 TDMA 技术，与中国没有什么关系，以下的讨论将集中于主流技术。值得一提的是，TD-SCDMA 是由中国提出的技术方案。

现有的第二代移动通信系统都会发展到第三代移动通信系统：GSM 未来将发展为 WCDMA，窄带 CDMA 未来将发展为 cdma2000。在系统演化的过程中，会经历一些中间阶段，即所谓的 2.5G 技术。例如，GPRS 就是 GSM 的 2.5G 系统。

在 3G 各个流派的标准化过程中，逐渐形成了 3GPP（3rd Generation Partnership Project）和 3GPP2 两大组织。3GPP 组织成立于 1998 年底，主要担负 GSM 演化为 WCDMA 过程中标准的研究工作，TD-SCDMA 也于 2001 年被 3GPP 组织接纳。3GPP2 组织是 3GPP 组织的并行组织，主要担负 CDMA 演化为 cdma2000 过程中标准的研究工作。

本来人们开发 3G 还有一大期望，就是统一目前不兼容的第二代移动通信系统，从而实现全球漫游的愿望。但是从目前的发展情况看，WCDMA、cdma2000 与 TD-SCDMA 还是互不兼容，第二代移动通信系统的分歧依然延续着，统一移动通信系统的理想只能留给未来的 4G 来实现了。

1.3 空中接口

1.3.1 接口

通信系统是由多个部分或模块组成的，各个模块之间不可避免地需要进行信息的交换。模块之间通过接口相互连接，传递信息，这些接口可以分成系统接口和用户接口两类。系统接口是通信网络内部各个模块之间以及通信网络之间的接口，用户接口是通信网络与用户设备之间的接口，如图 1.4 所示。

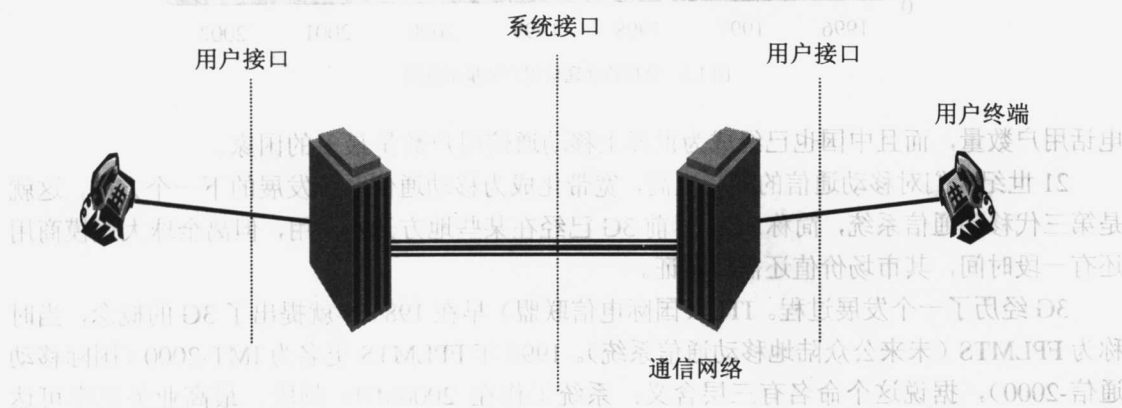


图 1.4 通信系统的接口示意图

在接口之间传递两类信息，其中一类称为业务信息，即语音信号和数据；另外一类称为控制信息，即控制信号。人们构建通信网络的目的是传递业务信息，为了准确和可靠地传递业务信息，控制信息也是必不可少的。业务信息和控制信息的关系是相辅相成、缺一不可的。这就有点像是在任何一个部门中都需要配备主管和办事人员。

控制信息需要按照一定的格式表达，这样接口双方才能相互理解，这些格式的定义称为协议。协议与语言类似，语言的格式就是语法，比如汉语与日语，语法就大相径庭。就像我们平时说话一样，只有使用同一种语言才能互相理解，否则就是对牛弹琴。因此接口两端的设备必须使用同一种协议。

协议是接口两端设备控制通信进行的语言，有时候我们也把协议称为信令，需要接口两端设备遵照执行。这有点像寄信，众所周知邮局在投递信件的时候，并不关心信件的内容，而是关心收件人的地址、邮政编码和寄件人的地址、邮政编码。而我们在寄信的时候，必须很清楚地写明以上信息，而且书写的位置很有讲究，如果是国内信件，收件人的信息必须写在信封的左上角；而国际信件恰恰相反，寄件人的信息才写在信封的左上角。这是一种规则，也就是协议。只有遵守了这样的规则，我们的信件才能到达应该去的地方。同样地，只有遵守了协议，接口两端设备才能正常通信。

在系统设计时，各个模块的功能是确定的，模块处理的信息格式也是确定的，因此模块之间的接口协议可以规范和标准化。采用规范和标准化的协议的最大优点是兼容性和开放性，只要符合同一标准的接口就可以互连，就像电器统一使用 220V 交流电一样。兼容性为运营

商提供了最大的方便，开放性引入了竞争，运营商可以在不同的制造商中间进行选择，最大程度地保障了自己的利益。

通信系统接口的标准化是相当普遍的，比如交换机和交换机之间的 SS7 信令以及交换机和接入网之间的 V5 协议等都是标准化的接口。当然，移动通信系统中这样的接口更多，比如 GSM 系统，就有诸如 A、Abis、B、C、D、E、F 接口等标准化的系统接口。前面提到的 3GPP 等组织就专门负责制定通信系统接口的标准。

1.3.2 空中接口

空中接口是移动通信系统中基站和用户终端之间的接口，可以看作是用户接口。与普通用户接口不同，空中接口采用无线电波传递信息，而不是利用用户线传递信息，所以空中接口又称为无线接口（在国标中就称为无线接口）。通信系统往往使用参考点作为划分功能的概念性参照点，空中接口的参考点为 Um，代表移动用户的 U 接口（U 接口是 ISDN 中网络与用户之间的接口）。

空中接口具有用户接口的基本特点：广泛性和多样性。所谓广泛性，指空中接口是移动通信网络中唯一与用户相连的接口，由于用户众多，因此空中接口无处不在；所谓多样性，在于用户终端多种多样，使用环境多种多样。可以看出空中接口是与用户关系最密切的接口，它的特性大大影响了用户的使用效果，地位相当重要。从前面对 3G 的介绍中也可以看出，不同标准的 3G 系统最大的区别也是空中接口的不同。

比起固定用户接口，空中接口更加复杂，具有更多智能性。这是由于空中接口的使用环境更加复杂和多样，而且还有前面提到的移动通信系统所增加的额外的一些处理能力。当然，光有空中接口并不能完成上述的额外的工作环节，还需要移动通信网络内部其他模块，如基站控制器、用户数据库等模块的配合。

为了保证基站和终端的正常工作，各种移动通信系统的空中接口普遍进行了标准化，制定了相应的空中接口的规范。例如窄带 CDMA 空中接口的规范为 IS-95，而 GSM 更是使用了 04、05 和 06 系列的多个建议书，PHS 空中接口的规范为 RCR STD-28 标准。

今天随便到一个城市的通信产品市场，琳琅满目的手机（用户终端）使用户有了更大的选择余地；众多的手机厂商和手机的品种相互竞争，也使得手机价格大幅度下降，移动通信如此普及也有空中接口标准化的一份功劳。

1.3.3 业务

空中接口需要支持各种业务，以满足用户不同的需要。空中接口借鉴了 ISDN 的业务能力及分类，支持三类业务：承载业务(bearer services)、电信业务(teleservices)和补充业务(supplementary services)。所谓业务，也就是通信网络为用户提供的服务。ISDN 开数字业务的先河，因此许多后来的数字通信系统，包括第二代移动通信系统都借鉴了 ISDN 的设计和概念。

承载业务在用户之间实时传递信息，不改变信息本身所包含的内容，可以看作透明传输。

电信业务包括网络提供的通信能力和终端本身所具有的通信能力。电信业务可以理解为用户使用终端而获得的业务。

承载业务和电信业务统称基本业务。